பொது பௌதிக வேதியியல்

துணைப்பாடம்

(பட்டப்படிப்பிற்குரியது)

(பிற்சேர்க்கை)

(திருத்தப்பட்ட பாடத்திட்டத்தின்கீழ் வெளியிடப்படுகிறது)

ஆசிரியர்

ருத்ர. துளசிதாஸ்

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

பொது பௌதிக வேதியியல்

துணைப்பாடம்

(பட்டப்படிப்பிற்குரியது)

(பிற்சேர்க்கை)

(திருத்தப்பட்ட பாடத்திட்டத்தின்கீழ் வெளியிடப்படுகிறது)

ஆசிரியர்

திரு. ருத்ர. துளசிதாஸ், எம்.எஸ்ஸி.,

வேதியியல் விரிவுரையாளர்,

மன்னர் துரைசிங்கம் நினைவுக் கல்லூரி,

சிவகங்கை.

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

Supplement—January, 1973

GENERAL PHYSICAL CHEMISTRY

—Ancillary (Supplement)

R. THULASIDHAS

PRICE 85 Paise

(Supplied free of Cost when original Book is purchased.)

'Published by the Tamil Nadu Text Book Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture) New Delhi.'

Printed by

Super Power Press,
21, Sunkurama Chetty Street,
Madras-1.

பொருளடக்கம்

6. அணுவின் அமைப்பும் இணைதிறனும்

(தொடர்ச்சி)

அணு அமைப்பில் புதிய கொள்கை

அணுவின் கட்டமைப்பு முறையில் எலக்ட்ரான்கள் அமைந்திருக்கும் வரிசை முறையைப் போர் என்பாரும், பரி என்பாரும் (Bohr and Bury) குறிப்பிட்டுக் கூறினார்கள். அக் கருத்தின்படி, மையத்தில் அணுக்கரு அமைந்திருக்க அதனைச் சுற்றிலும் எலக்ட்ரான்கள் இயங்கிக் கொண்டிருக்கின்றன. அணுக்கரு நேர் மின்னூட்டம் கொண்டது; எலக்ட்ரான்கள் எதிர்மின்னூட்டம் கொண்டவை. எலக்ட்ரான்கள் நிலையாக வைக்கப்பட்டிருக்குமெனில், நேர்மின்னூட்ட அணுக்கருவினால் ஈர்க்கப்பட்டு அணுமையத்தை அடைந்துவிடும் என்ற கருத்தை ரூதர்போர்டு (Rutherford) வெளிப்படுத்தினார்.

எனவே, எலக்ட்ரான்கள் நிலையாக இல்லாமல் அணுமையத்தைச் சுற்றி வேகமாக இயங்கிச் சுழன்று கொண்டிருக்கின்றன என்றும், மைய அகற்சி விசை (centrifugal force) காரணமாக அவை அணுச் சூழலினின்றும் நழுவி வெளியேறிவிடாமல் நேர்மின்னூட்ட அணுக் கருவின் ஈர்ப்புத் திறனால் கவரப்பட்டு இயங்குகின்றன என்றும் ரூதர்போர்டு தெரிவித்தார். ஆனால், மின் இயக்க இயலின்படி (electrodynamics) இவ்வாறு இயக்க நிலையிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் படிப்படியாக ஆற்றலை வெளியேற்றிவிடும்; இதன் காரணமாக அவை அணுக்கருவைச் சேர்ந்துவிடும் என்ற உண்மை தெரியலாயிற்று. இந்தச் சிக்கலைத் தெளிவுறுத்த விஞ்ஞானி போர் என்பார் அளவைக் கொள்கையை அல்லது குவான்ட்டம் கொள்கையை (Quantum Theory) மேற்கொண்டார். அவருடைய கருத்துப்படி, எலக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவைச் சுற்றிலும் அமைந்த வரைகளில் (orbits) இயங்குகின்றன; எலக்ட்ரான்கள் அவற்றுக்குரிய குறிப்பிட்ட வரைகளில் இயங்கும்போது, ஆற்றல் வெளியேற்றமோ அல்லது

ஏற்போ இல்லை. இது மின் இயக்க இயலுக்குப் புறம்பானதாக இருந்தாலும், அலை இயக்கவியல் (wave machanics) கருத்துக்கு விளக்கம் சொல்வதாக அமைந்தது.

இப் புதிய கருத்தின்படி, அணுக்கருவைச் சுற்றிலும் இயங்கும் எலக்ட்ரான்கள் ஆற்றலை வெளிப்படுத்தாமல் (இழக்காமல்) குறிப் பிட்ட வரைகளில் சுழன்று இயங்குகின்றன. அத்தகைய வரைகளை நிலைவரைகள் (stationary states) எனலாம். ஒவ்வொரு நிலைவரையும் குறிப்பிட்ட அளவினதான ஆற்றலைக் கொண்டிருக்கும். எலக்ட்ரான் தனக்குரிய நிலைவரையினின்றும் அடுத்திருக்கும் வரைக்குத் தாவு கையில், ஆற்றல் வெளியேற்றமோ அல்லது ஏற்போ இடம் பெறுகிறது. நிலைவரைக்குக் குறைவான ஆற்றல் பெற்ற வரைக்குத் தாவும்போது, ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது ; நிலைவரைக்கு அதிகமான ஆற்றல் கொண்ட வரைக்குத் தாவும்போது, ஆற்றல் ஏற்கப் படுகிறது.

குவான்ட்டம் கொள்கையின்படி, E_1 என்பது ஒரு நிலைவரையில் அமைந்த ஆற்றலாகவும், E_2 என்பது மற்றொரு நிலைவரையில் அமைந்த ஆற்றலாகவும் கொண்டு, ஓர் எலக்ட்ரான் முன்னதிலிருந்து பின்னதற்கு இடம்பெயர்வதனால் என்ன நிகழும் என்பதைக் காண்போம். E_2 அளவு E_1 அளவைவிடக் குறைவானதாகக் கொள்க. உரிய கருத்தின்படி, எலக்ட்ரான் இடம்பெயரும்போது ஆற்றல் வெளிப்பட வேண்டும். வெளிப்படும் ஆற்றலின் அதிர்வு (frequency) γ என்றமைந்தால்,

$$E_1 - E_2 = h\gamma$$

என்றாகும். h என்பது மாறிலி. இது ப்ளாங்க் மாறிலி (Planck's Constant) எனப்படும். இந்தக் கணக்கீட்டின்படி, $h\gamma$ அளவான ஆற்றலை அந்த எலக்ட்ரான் ஏற்றால், E_2 அளவு நிலைவரையினின்றும் E_1 அளவு நிலைவரைக்கு உயர்த்தப்படும்.

ஓர் அணு அடிமட்டநிலை (normal state or ground state) யில் இருப்பதாகவும், கிளர்வுற்ற நிலை (excited state) யில் இருப் பதாகவும் இரு வேறு நிலைகளைக் கூறலாம். அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான் தனக்குறிய மிகக் குறைந்த ஆற்றல் கொண்ட நிலை வரையில் இயங்குமானால், அதுவே அணுவின் அடிமட்ட நிலை எனப் படும்; மாறாக, நிலைமை மாறி ஆற்றலைப் பெற்று எலக்ட்ரான் அதிக அளவினதான நிலைவரையில் இயங்க நேருமானால், அணு கிளர்வுற்றி ருப்பதாகப் பொருள்படும். ஆற்றலை வெளியிலிருந்து பெறுவதனால் கிளர்வுறும் அணு பின்னர் அடிமட்ட நிலைக்குத் திரும்பும்போது,

எலக்ட்ரான் மேல் வரையினின்றும் பெயர்ந்து தாழ்வு வரைக்கு மீளும்போது, ஆற்றல், ஒளி உருவில் வெளிப்படுகிறது. இந்த ஒளியின் வெளிப்பாடே நிற நிரல் அல்லது நிற வரிசை (spectral line) யாகப் பதிவாகிறது. ஆற்றலை ஏற்று எலக்ட்ரான் மேல் வரைக்கு உயரும் போதும் இத்தகைய நிற நிரல் அமைகிறது. எனவே, இரண்டு வகையான நிற நிரல்கள் பதிவாகின்றன. நிற நிரலின் தன்மையைக் கொண்டு எலக்ட்ரான் ஆற்றலை ஏற்றுக்கொண்டதா அல்லது வெளிப்படுத்தியதா என்பதைத் தெளிவுபடுத்த முடியும்.

போர் என்பாரின் கொள்கைப்படி அணுவின் எல்லா இயக்கங்களையும் இயல்புகளையும் விளக்க முடியவில்லை. அவருடைய விளக்கங்களின்படி எலக்ட்ரான் என்பது ஒரு துணுக்கு என்பதாகக் கருதப்பட்டது. ஆனால், 1924-ல் டி ப்ராக்லி (de Broglie) என்பார் இக் கருத்தை மாற்றினார். அவருடைய கருத்தின்படி, இயங்கு நிலையிலுள்ள எலக்ட்ரான் துணுக்கு - நிலையிலன்றி அலை - இயல்பு கொண்டிருப்பதாகத் தெரிய வந்தது. பின்னர் நிகழ்த்தப்பட்ட சோதனைகளின் மூலம் எலக்ட்ரான் என்பது துணுக்கின் பண்பும் (particle nature), அலைப் பண்பும் (wave nature) ஒருங்கிணையப் பெற்றதாகும் என்ற கருத்து வலியுறுத்தப்பட்டது. இதுவே அலை இயக்கவியல் (wave mechanics) கொள்கையாயிற்று. இக் கொள்கையை அடிப்படையாகக் கொண்டு ஷ்ராடிங்கர் (Schrodinger) என்பார் எலக்ட்ரானைப் பற்றிய புதிய விளக்கம் கொடுத்தார். எலக்ட்ரான் என்பது பருப்பொருளைப் போன்று நிலையாக ஓரிடத்தில் அமைவதில்லை என்றும், மண்டல (cloud) நிலையில் அது பரவலாக அமைந்திருக்கிறது என்றும் ஷ்ராடிங்கர் விளக்கினர்.

இந்தப் புதிய விளக்கம் முன்னர் கூறப்பட்ட போர் - பரி முறை (Bohr - Bury Scheme) யிலான எலக்ட்ரான் நிலைவரை (orbit) அமைப்புக்கு மாற்றம் தந்து, மண்டல (orbital) அமைப்பு முறைக்கு வழி அமைத்தது. இந்த அமைப்பு முறையினல் அணுக்களிடையேயான பிணைப்புகளைத் தெளிவாகவும் விரிவாகவும் விளக்க முடிகிறது.

6-A. கதிரியக்கம்

1895ஆம் ஆண்டு யுரேனியம் தனிமத்தையும் அதன் சேர்மங்களையும் ஆராய்ந்து ஹென்றி பெக்குரல் (Henry Becquerel) சில சிறப்பியல்புகளை வெளிப்படுத்தினார். அந்த இயல்புகள் பிற தனிமங்களினுடையவற்றினின்றும் வேறுபட்டனவாக இருந்தன. யுரேனியமும், யுரேனியச் சேர்மங்களும் இருட்டறைச் சூழ்நிலையிலும் புகைப் படத் தாள்களைத் தாக்கின; இருளில் கூட அச் சேர்மங்கள் கண்ணுக்குப் புலப்படாத கதிர்களை வெளியேற்றும் தன்மையன என்பதே அதற்குக் காரணம் என்பதாக பெக்குரல் புலப்படுத்தினார். யுரேனியமும் யுரேனியச் சேர்மங்களும் அவ்வாறு வெளிப்படுத்தும் கதிர்கள் திண்மப் பொருள்களையும் ஊடுருவிச் செல்லும் ஆற்றல் கொண்டன. இத்தகைய ஊடுருவும் திறனால் வாயுக்கள் அயனியுறுகின்றன. இக் கதிர்களால் தாக்கப்பெற்ற பின்னர், சிங்க் சல்பைடு (zinc sulphide) பேரியம் பிளாட்டினோ சயனைடு (barium platino-cyanide) முதலிய சேர்மங்கள் ஒளியுமிழ்கின்றன என்பதுவும் சோதனைகளால் புலனாயிற்று. இவ்வாறு ஆற்றல் பெற்ற கதிர்களை வெளிப்படுத்தும் இயல்பைக் கதிரியக்கம் (radio-activity) என்கிறோம். இந்த இயல்பைக் கொண்டிருக்கும் யுரேனியம் போன்றவற்றைக் கதிரியக்கப் பொருள்கள் (radio-active substances) என்கிறோம்.

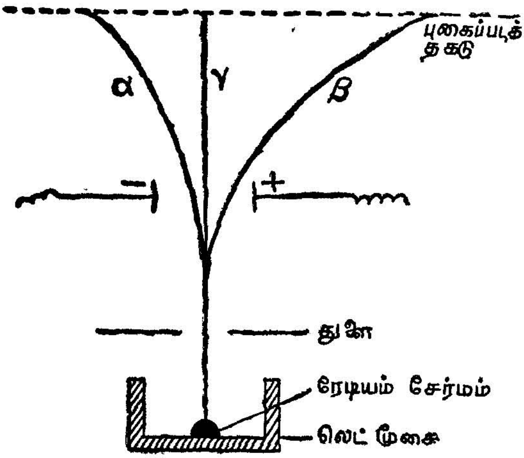
பின்னர் 1898-ல் க்யூரி அம்மையாரும், ஷ்மிட் என்பாரும் (Madame Curie and Schmidt) தனித்தனியே ஆராய்ச்சிகள் செய்து சில கதிரியக்கப் பொருள்களைக் கண்டுபிடித்தார்கள். தோரியம் (thorium) சேர்மங்கள் கதிரியக்கத் தன்மை கொண்டவை என்ற உண்மை வெளியாயிற்று. 1902 ஆம் ஆண்டு க்யூரி என்பாரும், அவரது மனைவியார் க்யூரி அம்மையாரும் யுரேனியம் ஆக்சைடு அடங்கிய கருநிறத் தாதுவை (pitch blende) ஆராய்ந்தார்கள். அப் பொருள் யுரேனியத்தை விட நான்கு மடங்கு அதிக கதிரியக்க ஆற்றல் பெற்றிருந்தது என்பது குறிப்பிடத் தக்கதாகும். யுரேனியத்துடன் வேறு

ஏதோ ஒரு பொருள் கலந்திருக்க வேண்டும் என்றும், அது யுரேனியத்தைவிட ஆற்றல் மிக்கது என்றும் அந்த விஞ்ஞானத் தம்பதிகளுக்குப் புலனாயிற்று. மிகப் பெரும் அளவிலான பிட்ச்ப்ளெண்டிலிருந்து சோதனைகள் மூலம் ஒரு புதிய தனிமம் பிரித்தெடுக்கப்பட்டது. இதுவே ரேடியம் (radium) என்ற தனிமம் ஆகும். இதன் கதிரியக்க ஆற்றல் யுரேனியத்தினுடையதைப் போல இலட்சம் மடங்கு அதிகமாகும்.

இச்சோதனைகளுக்குப் பின்னர் பல விஞ்ஞானிகள் தொடர்ந்து முயன்று மேலும் பல புதிய கதிரியக்கத் தனிமங்களைக் கண்டு பிடித்தனர். எண்ணிக்கையில் இவை ஏறத்தாழ நாற்பது ஆகும். இவையும், இவை வெளியிடும் கதிர்களும், விஞ்ஞானத்தில் புதிய புதிய செய்திகளைத் தோற்றுவித்திருக்கின்றன. அணுவின் கட்டமைப்பைப் பற்றிய உண்மைகளைச் சோதித்தறிய இக் கதிர்கள் மிகவும் பயன்பட்டன.

கதிரியக்கக் கதிர்கள் (Radio-active Rays)

கதிரியக்கத் தனிமங்களும் சேர்மங்களும் வெளியிடும் கதிர்களைப் பற்றிய விஞ்ஞானச் சோதனைகளின்படி, இக் கதிர்கள் அனைத்தும்



ஒரே இயல்புடையன அல்ல என்பது தெளிவாயிற்று. ரூதர்போர்டு இக் கதிர்களை வகைபிரிக்க மின்னாற்றலைப் பயன்படுத்தினார். நேர்மின்

ஆற்றல், எதிர்மின் ஆற்றல் என இருவகைத் தன்மை அமைந்த இரு உலோகத் தகடுகளிடையே இக் கதிர்களைக் கடக்கச் செய்தபோது, அவை மூன்று வகைகளாகப் பிரிவதை ருதர்போர்டு கண்டறிந்தார். எதிர்மின் தகடு நோக்கி வளைந்து ஒரு வகைக் கதிர்க்கற்றை சென்றது. இவ்வகைக் கதிர் ஆல்பா கதிர் (α - alpha ray) எனப்பட்டது. இக் கதிர் நேர்மின்னூட்டம் கொண்டதாகும். மற்றொரு வகையான கதிர்க்கற்றை நேர்மின் தகட்டை நோக்கி வளைந்து சென்றது. இவ்வகைக் கதிர் பீட்டா கதிர் (β - beta ray) எனப்பட்டது. இக் கதிர் எதிர்மின்னூட்டம் கொண்டதாகும். மூன்றாவது வகையான கதிர்க்கற்றை மின்தகடுகளால் பாதிக்கப்படாமல் நேராகச் சென்றது. இவ்வகைக் கதிர் காமா கதிர் (γ - gamma ray) எனப்பட்டது. இக் கதிர் எவ்வித மின்னூட்டமும் அற்றுப் பொதுத் தன்மை கொண்டதாகும்.

ஆல்பா கதிர்கள்

திட்டவட்டமாகக் கூறுவதானால், இவை கதிர்கள் அல்ல; மிக நுண்ணிய துணுக்குகளின் கோவையேயாகும். இதை ஆல்பா-துணுக்கு எனக் கூறுவதே பொருத்தமாகும். காந்தப் புலத்திலும், மின்புலத்திலும் இத் துணுக்கைச் சோதித்தபோது ஒவ்வொரு ஆல்பா துணுக்கும் ஹைட்ரஜன் அணுவைவிட நான்கு மடங்கு நிறை கொண்டதாகவும், நேர்மின்னூட்ட இரண்டு அலகுகள் கொண்டதாகவும் காணப்பட்டது. அணு எடை நான்கு எனக் கொண்ட தனிமம் ஹீலியம் (helium) ஆகும்; இத் தனிம அணுவில் அமைந்த எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை இரண்டு. எனவே இரண்டு எலக்ட்ரான்கள் நீக்கப்பெற்ற நிலையிலான ஹீலியம் என்பது ஆல்பா துணுக்குக்கு நிகராகும். எலக்ட்ரான் நீக்கப் பெற்ற நிலையில் ஹீலியம் அணு, ஹீலியம் அயனியாக மாறுகிறது.

$$He - 2e \longrightarrow He^{++}$$

எனவே, ஆல்பா துணுக்கு என்பது ஹீலியம் அயனியாகும்; ஆல்பா கதிர் என்பது ஹீலியம் அயனிகளின் கோவையாகும். இதை ருதர்போர்டு பரிசோதனை அளவில் நிரூபித்துக் காட்டினார். ஒரு சூனியக் குழலில் (vacuum tube) ஆல்பா துணுக்குகளைச் சேகரித்து நிறநிரல் கருவி (spectroscope) மூலமாக அவற்றை மாறுதலுக்குள்ளாக்கிய போது, ஹீலியம் அணுக்கள் கிடைக்கப் பெற்றன. ஹீலியம் அயனி இரண்டு எலக்ட்ரான்களை ஏற்றுக் கொள்வதனாலேயே இவ்வாறு ஹீலியம் அணு உருவாகிறது என்பது தெளிவு.

ஆல்பா துணுக்குகளின் இயல்புகளைப் பின்வருமாறு தொகுத்துக் கூறலாம் :

(i) ஆல்பா துணுக்குகள் கதிரியக்கப் பொருள்களினின்றும் வெளித்தள்ளப்படுகின்றன. இவ்வாறு அவை வெளியேறும் வேகம் அளவிடற் கரியதாகும்; ஒளியின் வேகத்தில் சுமார் பத்தில் ஒரு பங்கு வேகமாக அத் துணுக்குகள் இயங்குகின்றன. ஆல்பா துணுக்குகள் அனைத்தின் வேகமும் ஒரே சீராக இல்லை. எந்தப் பொருளிலிருந்து α-துணுக்குகள் வெளியேறுகின்றனவோ, அப்பொருளின் இயல்புக்கு ஏற்ப துணுக்குகளின் இயங்கு வேகம் அமைகிறது.

(ii) பிற துணுக்குகளுடன் ஒப்பிடுகையில் ஆல்பா துணுக்கின் அளவினம் (பருமன்) அதிகமாகும். எனவே, திண்மப் பொருள்களை இத் துணுக்குகள் எளிதில் ஊடுருவிச் செல்ல முடிவதில்லை. மைக்கா, அலுமினியம் முதலியவற்றின் மெல்லிய தகடுகளை அவை ஊடுருவிச் செல்லும் திறன் பெற்றிருக்கின்றன. ஒரு மண்டல அழுத்தம் கொண்ட, சில சென்ட்டி மீட்டர் தடிமனுள்ள (thickness) காற்றை ஊடுருவிச் செல்ல இதனால் முடியும். இத் துணுக்குகளின் இயக்கத்தைத் தடுத்து நிறுத்த 0·1 மில்லி மீட்டர் தடிமனுள்ள அலுமினியத் தகடு போதுமானதாகும்.

(iii) அதிக இயக்க வேகம் கொண்டிருப்பதனால், ஆல்பா துணுக்குகள் வாயு மூலக்கூறுகளுடன் மோதி, அதன் விளைவாக எலக்ட்ரான்களை நீக்கி, வாயுக்களை அயனியுறச் செய்கின்றன. இவ்வித அயனியாக்கல் தீவிரமாக நிகழ்கிறது என்பது குறிப்பிடத் தக்கதாகும்.

(iv) ஆல்பா துணுக்குகளால் தாக்கப் பெறும்போது சிங்க் சல்பைடு ஒளிரும் தன்மையைப் பெறுகிறது. புகைப்படத் தகடு ஆல்பா துணுக்குகளால் பாதிக்கப்படுகிறது. இவ்வகை விளைகளுக்குக் காரணம் ஆல்பா துணுக்குகளின் மிக அதிக அளவிலான இயக்க ஆற்றலே (kinetic energy) ஆகும்.

பீட்டா கதிர்கள்

காந்தப் புலத்திலும் மின் புலத்திலும் சோதனைகளை நிகழ்த்திய போது, பீட்டா கதிர்கள் வளைந்து சென்ற போக்கைக்கொண்டு ஆராய்ந்ததன் விளைவாக, அக் கதிர்களின் தன்மை வெளிப்பட்டது. பீட்டா கதிர் என்பது எதிர்மின்னூட்டம் கொண்ட துணுக்குகளின் கோவை என்பது தெளிவாயிற்று. பீட்டா துணுக்கின் மின்னூட்டமும் நிறையும் கொண்டிருக்கும் விகிதத்தைக் [e/m] கணக்கிடும் போது, அத் துணுக்கு எலக்ட்ரான் என்பதன்றி வேறல்ல என்ற

உண்மை புலப்பட்டது. β - துணுக்குகளின் இயல்புகளைப் பின் வருமாறு தொகுத்துக் கூறலாம்:

(i) β - துணுக்குகளின் சராசரி இயங்கு வேகம் α - துணுக்குகளின் இயங்கு வேகத்தை விடப் பத்து மடங்கு அதிகமாகும். ஏறத்தாழ அது ஒளியின் வேகத்தை ஒத்திருக்கிறது.

(ii) β - துணுக்குகள் α - துணுக்குகளைவிடச் சிறியவை; இயங்கு வேகமும் பத்து மடங்கு அதிகம். எனவே, α - துணுக்குகளைவிட β - துணுக்குகளுக்கு ஊடுருவும் ஆற்றல் மிக அதிகமாகும். சில சென்ட்டி மீட்டர் தடிமனுள்ள காற்று α - துணுக்குகளைத் தடுத்து நிறுத்த முடியும்; ஆனால் β - துணுக்குகள் சுமார் 100 மடங்கு அதிகத் தடிமனுள்ள காற்றுப் பகுதியை ஊடுருவிச் செல்ல முடியும். இத் துணுக்குகளைத் தடுத்து நிறுத்தத் தேவையான அலுமினியத் தகட்டின் தடிமன் 1 சென்ட்டி மீட்டர் ஆகும்.

(iii) β - துணுக்கின் இயங்கு வேகம் அதிகம். ஆனால், துணுக்கின் நிறை மிகக் குறைவு. எனவே, β - துணுக்கின் இயக்க ஆற்றல் α - துணுக்கினுடையதைவிட மிக மிகக் குறைவானதாகிவிடுகிறது. எனவே, வாயுக்களை அயனியாக்கும் திறனை ஒப்பிடும்போது, β - துணுக்குகளின் திறன் α - துணுக்குகளினுடையதைவிடக் குறைவானதாகும்.

(iv) இயக்க ஆற்றல் குறைவாக இருப்பதனால் β - துணுக்குகள் சிங்க் சல்பைடை அவ்வளவாகப் பாதிப்பதில்லை. ஆனால், புகைப்படத் தகடு பாதிக்கப்படுவதை ஒப்பிடும்போது, α - துணுக்குகளைவிட β - துணுக்குகளே தீவிரமாக இயங்குகின்றன. இதனை எதிர்மின் முனைக் கதிர் (cathode ray)களோடு ஒப்பிடலாம். β - துணுக்குகள் திண்மமான புகைப்படத் தகட்டினால் தடுத்து நிறுத்தப்படுவதன் விளைவாக X-கதிர்கள் உருவாகின்றன; β - கதிர்கள் புகைப்படத் தகட்டை மிகத் தீவிரமாகத் தாக்குவதற்கு இதுவே காரணமாகும்.

காமா கதிர்கள்

காந்தப் புலத்தினாலும், மின்புலத்தினாலும் இவை பாதிக்கப்படுவதில்லை. எனவே, இவற்றிற்கு மின்னூட்டம் எதுவும் கிடையாது என்பது தெளிவாகிறது. காமா கதிர்கள் என்பவை ஒளி அலைகளே எனச் சோதனைகள் மூலமாக நிரூபிக்கப்பட்டிருக்கிறது. காமா கதிராக விளங்கும் ஒளியின் அலைநீளம் மிகக் குறைவாகும்; X - கதிரின் அலைநீளத்தைவிடக் குறைவு என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. γ - கதிர்களின் இயல்புகளைப் பின்வருமாறு தொகுத்துக் கூறலாம்:

(i) காமா கதிர்களின் இயங்கு வேகம் மிக அதிகமாகும். இந்த இயங்கு வேகம் ஒளியின் இயங்கு வேகத்திற்குச் சமமாக இருக்கிறது.

(ii) பிற கதிர்களைப் போன்று துணுக்கு நிலையில் இல்லை என்பதனுலும், இயங்கு வேகம் மிக அதிகமாக இருப்பதனுலும், γ-கதிர்களின் ஊடுருவும் ஆற்றல் பிற கதிர்களினுடையதைவிட அதிகமாகும்.

(iii) வாயுக்களை அயனியாக்கும் திறன் காமா கதிர்களுக்கு மிகக் குறைவு.

(iv) சிங்க் சல்பைடு, புகைப்படத் தகடு ஆகியவற்றைப் பாதிக்கும் திறனும் இக் கதிர்களுக்கு மிகக் குறைவு.

கதிரியக்கக் கொள்கை (Theory of Radio-activity)

கதிரியக்கப் பொருள்களிலிருந்து வெளிப்பட்ட கதிர்களைப் பற்றிய விரிவான செய்திகள் சோதனைகள் மூலமாக ஆராயப்பட்டதன் விளைவாக, கதிரியக்கம் என்பது அணுக்கருச் சார்பான வினையாகும் எனத் தெளிவாயிற்று. ரூதர்போர்டு என்பாரும், சாடி என்பாரும் (Rutherford and Soddy) கதிரியக்க வினைகளுக்கான விளக்கங்களையும், கதிர்களைப்பற்றிய விளக்கங்களையும் தொகுத்துரைத்தார்கள். அந்தத் தொகுப்புரை கதிரியக்கக் கொள்கை எனப்படும். இக் கொள்கையின் கூறுகள் பின்வருமாறு :

(i) கதிரியக்கத் தனிமங்களின் அணுக்கள் நிலையற்றவை.

(ii) இத்தகைய அணுக்கள் கதிர்களை வெளியிடுவதனுல் சிதைந்து கொண்டே இருக்கின்றன; இச் சிதைவினுல் புதிய அணுக்கள் உருவாகின்றன. இவ்வாறு புதிதாக உருவான அணுக்களின் இயற்பியல், வேதியப் பண்புகள் தொடக்கநிலை அணுக்களின் பண்புகளினின்றும் வேறுபட்டனவாக அமைகின்றன.

(iii) கதிரியக்க அணுக்களினின்றும் வெளிப்படும் ஆல்பா, பீட்டா துணுக்குகள் அணுக்கருவின் பகுதிகளேயாகும்.

(iv) காமா கதிர்கள் வெளிப்படுவதென்பது அணுச் சிதைவின் துணை விளைவேயாகும். எதிர் மின்முனைத் துகள் (cathode particle) களிலிருந்து X-கதிர்கள் உருவாவதுபோல, β - துணுக்குகளினின்றும் துணை விளைவாகப் பெறப்படுபவையே காமா கதிர்கள் எனலாம்.

கதிரியக்க மாற்றங்கள் (Radio-active changes)

கதிரியக்கத் தனிமங்கள் இரண்டு வகையான மாற்றங்களுக்கு உட்படுகின்றன. ஆல்பா துணுக்கு வெளிப்படுவதனுல் நிகழும்

மாற்றத்தை ஆல்பா கதிர் மாற்றம் என்றும், பீட்டா துணுக்கு வெளிப்படுவதனால் நிகழும் மாற்றத்தை பீட்டா கதிர் மாற்றம் என்றும் வழங்கலாம். இத்தகைய சிதைவு நிகழ்ச்சிகளினால் புதிய தனிமங்கள் உருவாகின்றன என்பதைப் பின்வரும் எடுத்துக் காட்டுகளினால் அறியலாம்:

α - கதிர் மாற்றம் : ஓர் அணுக்கருவிலிருந்து ஆல்பா துணுக்கு ஒன்று வெளியேற்றப் பட்டிருக்கிறது என்றால், ஒரு ஹீலியம் அயனி (He^+) வெளியேற்றப் பட்டிருக்கிறது என்பது பொருளாகும்; அதாவது நான்கு அலகுகள் நிறையும், இரண்டு அலகுகள் நேர் மின்னூட்டமும் வெளியேற்றப்பட்டிருப்பதாகப் பொருளாகும். எனவே, புதிதாக உருவாகும் அணு, முன்னதைவிட அணு எடை நான்கு அலகுகள் குறைவாகவும், அணு எண் இரண்டு அலகுகள் குறைவாகவும் கொண்டிருக்கும். இந்த உண்மையைத் தனிம அட்டவணையில் பொருத்திப் பார்க்கும்போது, புதிதாக உருவான தனிமம் அமையும் தொகுதி (group) தொடக்க நிலையிலிருந்த தனிமம் இருந்த தொகுதிக்கு இரண்டு தொகுதிகள் முன்னதாக அமையும்.

எடுத்துக் காட்டாக, ரேடியம் அணு சிதைவுற்று ஆல்பா துணுக்கை வெளியேற்றுவதனால், ரேடான் அணு உருவாகிறது. ரேடியத்தின் அணு எண் 88; ரேடானின் அணு எண் 86; ரேடியத்தின் அணு எடை 226; ரேடானின் அணு எடை 222; தனிம அட்டவணையில் ரேடியம் தொகுதி II - ல் அமைந்துள்ளது; ரேடான் தொகுதி O - ல் அமைந்துள்ளது.

தொகுதி O அ. எண் 86 அ. எடை 222	ரேடான்	$\xleftarrow{-\alpha}$	ரேடியம்	தொகுதி II அ. எண் 88 அ. எடை 226

இவ்வாறே வேறு சில சிதைவுகளைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்ல இயலும்.

பீட்டா கதிர் மாற்றம் : பீட்டா துணுக்கு என்பது எலக்ட்ரான் தவிர வேறல்ல என்பதை அறிந்தோம். அணுக்கருவிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரான் வெளியேறுமானால், ஒரு நேர்மின்னூட்டஅலகு கருவில் கூடுதலாக அமைந்துவிடுகிறது. எலக்ட்ரானின் நிறை ஒதுக்கித் தள்ளத் தக்க அளவு மிக மிகக் குறைவானது என்பதனால், அணுக்கரு எடை (அணு எடை)யில் குறிப்பிடத்தக்க மாற்றம் எதுவும் இல்லை. ஆனால், அணு எண்ணில் மாற்றம் நிகழ்ந்திருக்கிறது. எனவே, புதிதாக உருவான தனிமத்தின் அணு எண் முன்னதை விட ஒன்று கூடுதலாகக் கொண்டிருக்கும்; ஆனால் அணு எடையைப் பொறுத்த வரை இரண்டினுடையவற்றில் வேறுபாடு இல்லை. இந்த

உண்மையைத் தனிம அட்டவணையில் பொருத்திப் பார்க்கும்போது, புதிதாக உருவான தனிமம் தொடக்க நிலையிலிருந்த தனிமம் இருந்த தொகுதிக்கு ஒரு தொகுதி ஏறு வரிசையில் அடுத்ததாக (அடுத்த தொகுதியில்) அமையும்.

எடுத்துக் காட்டாக, யுரேனியம் X_1 அணு சிதைவுற்று பீட்டா துணுக்கை வெளியேற்றுவதனால் யுரேனியம் X_2 அணு உருவாகிறது. யுரேனியம் X_1-ன் அணு எண் 90; யுரேனியம் X_2-ன் அணு எண் 91. யுரேனியம் X_1-ன் அணு எடை 234; யுரேனியம் X_2-ன் அணு எடை 234. தனிம அட்டவணையில் யுரேனியம் X_1-ன் தொகுதி IV, யுரேனியம் X_2-ன் தொகுதி V.

$$\left.\begin{array}{l}\text{தொகுதி IV}\\ \text{அ. எண் 90}\\ \text{அ. எடை 234}\end{array}\right\} \text{யுரேனியம் } X_1 \xrightarrow{-\beta} \text{யுரேனியம் } X_2 \left\{\begin{array}{l}\text{தொகுதி V}\\ \text{அ. எண் 91}\\ \text{அ. எடை 234}\end{array}\right.$$

ஆல்பா கதிர் மாற்றம், பீட்டா கதிர் மாற்றம் ஆகியவற்றின் முடிவுகளை ஒரு சேரத் தொகுத்து ஃபஜ்ஞான்ஸ், ரஸ்ஸல், சாடி (Fajans, Russel and Soddy) ஆகியோர் 1913-ல் தொகுதி மாற்று விதி (Group Displacement Law) ஒன்றை வெளியிட்டார்கள். அந்த விதி பின்வருமாறு:

"ஆல்பா கதிர் மாற்றத்தினால் உருவாகும் புதிய தனிமம் முன்னதைவிட அணு எடையில் நான்கு அலகுகள் குறைவாகக் கொண்டிருக்கும்; தனிம அட்டவணையில் இந்தப் புதிய தனிமம் முன்னதன் தொகுதிக்கு இரண்டு தொகுதிகள் முன்னுள்ளதாக அமையும், பீட்டா கதிர் மாற்றத்தினால் உருவாகும் புதிய தனிமத்தின் அணு எடை மாறாமல் முன்னதன் அணு எடையாகவே இருக்கும்; ஆனால், தனிம அட்டவணையில் அதன் தொகுதி ஏறு வரிசையில் முன்னதன் தொகுதியின் அடுத்ததாக அமையும்."

விரிவாக ஆராயும் போது α, β கதிர் மாற்றங்கள் ஐசோடோப்புகளை (ஓரிடத் தனிமங்கள்) யும், ஐசோபார்களை (ஒரு நிறைத் தனிமங்கள்) யும் உருவாக்குகின்றன என்பது தெளிவாகும். β - கதிர் மாற்றம் ஐசோபார் (isobar) உருவாகக் காரணமாகிறது. ஓர் α - கதிர் மாற்றமும், அதைத் தொடர்ந்து இரண்டு β - கதிர் மாற்றங்களும் நிகழ்ந்தால் ஐசோடோப் (isotope) உருவாகிறது. பின்வரும் மாற்றங்கள் இதை விளக்கும்.

	$RaA \xrightarrow{-\alpha}$	$RaB \xrightarrow{-\beta}$	$RaC \xrightarrow{-\beta}$	RaC'
அணு எண்	84	82	83	84
அணு எடை	218	214	214	214

இவற்றில் RaA, RaC′ ஆகியன ஐசோடோப்புகள்; RaB, RaC, RaC′ ஆகியன ஐசோபார்கள்.

இதே போன்று யுரேனியம் I படிப்படியாக U_{x_1}, U_{x_2}, U_{II} என்பதாக மாற்றம் பெறுவதைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்லலாம்.

	$U_I \xrightarrow{-\alpha}$	$U_{x1} \xrightarrow{-\beta}$	$U_{x2} \xrightarrow{-\beta}$	U_{II}
அணு எண்	92	90	91	92
அணு எடை	238	234	234	234

இவற்றில் U_I, U_{II} ஆகியன ஐசோடோப்புக்கள்;
U_{x_1}, U_{x_2}, U_{II} ஆகியன ஐசோபார்கள்.

இரசவாதம் அல்லது தனிம மாற்றம் (Transmutation)

ஒரு தனிமத்தை மற்ெறாரு தனிமமாக மாற்றும் முயற்சி நெடுங் காலமாகவே இருந்து வந்திருக்கிறது. இரசவாத வித்தை மூலமாகச் சாதாரண உலோகங்களைத் தங்கமாக மாற்றும் எண்ணமும் முயற்சியும் உலகின் எல்லா நாடுகளிலும் பரவலாக இருந்திருக்கிறது என்பதாக வரலாறு கூறுகிறது. ஆனால், பொருள்களை விஞ்ஞான அடிப்படையில் சோதித்தறிந்து டால்ட்டன் (Dalton) தம்முடைய அணுக்கொள்கையை வெளியிட்ட பின்னர், இத்தகைய இரசவாத முயற்சிகள் கைவிடப்பட்டன. கதிரியக்கத் தனிமங்கள் கதிர்களை வெளியிடுவதன் விளைவாகப் புதிய தனிமங்கள் உருவாவதைக் கண்டறிந்த விஞ்ஞானிகள் இயற்கை வழித் தனிம மாற்றம் (natural transmutation) குறித்து மேலும் ஆராயத் தொடங்கினர்.

அணுக்கருவைப் பற்றிய தெளிவு ஏற்பட்ட பின்னர் செயற்கை முறையில் ஓர் அணுக்கருவை மற்றொரு வகை அணுக்கருவாக மாற்ற இயலும் என்று விஞ்ஞானிகள் நிரூபித்தனர். அணுக்கருவை நுண் துகள்களால் மோதச் செய்வதனால் இம் மாற்றத்தை நிகழ்த்த முடியும். ஒரு தனிமத்தின் இயல்பு அதன் அணு எண்ணைச் சார்ந்ததாகும். அணு எண் என்பது அணுக்கருவில் பொதிந்திருக்கும் நேர்மின்னூட்ட அலகுகளைச் சார்ந்தது; எனவே, அணுக்கருவில் இருக்கும் புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையை மாற்றுவதன் மூலம் தனிம மாற்றத்தை நிகழ்த்தலாம். நுண்துகள்களான ஆல்பா துணுக்கு, புரோட்டான், ட்யூட்டெரான் (deuteron), நியூட்ரான்

ஆகியவற்றை ஏவுகணைகளாகப் பயன்படுத்தி அணுக்கருவைத் தாக்கினால், மாற்றம் நிகழ்ந்து, புதிய அணுக்கரு உருவாகிறது. இத்தகைய செயற்கை முறைத் தனிம மாற்றத்தை (artificial transmutation) முதலில் 1919-ல் ரூதர்போர்டு நிகழ்த்திக் காட்டினார். அவர் ஆல்பா துணுக்குகளை உரிய முறையில் பயன்படுத்தி நைட்ரஜன் அணுக்களுடன் மோதச் செய்தார். புதிய தனிமமாக ஆக்சிஜன் கிடைத்தது. துணை விளைபொருளாக புரோட்டான் வெளிப்பட்டது. இந்த வினையைப் பின்வரும் சமன்பாட்டால் குறிப்பிடலாம்.

$$ {}_{7}N^{14} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow {}_{8}O^{17} + {}_{1}H^{1} $$

இவ்வாறே லித்தியம் அணுக்கருவை புரோட்டான் துணுக்கைக் கொண்டு தாக்கினால், ஹீலியம் அணுக்கள் கிடைக்கும்.

$$ {}_{3}Li^{7} + {}_{1}H^{1} \longrightarrow {}_{2}He^{4} + {}_{2}He^{4} $$

இத்தகைய முறையில் தங்கத்தை உருவாக்கும் வினையை முதன் முதலில் 1941-ல் ஷெர் என்பாரும், பெய்ன்பிரிட்ஜ் என்பாரும் (Sherr and Bainbridge) கண்டறிந்தனர். பாதரசத்தை புரோட்டான் கொண்டு தாக்கினால் தங்கம் கிடைக்கிறது.

$$ {}_{80}Hg^{200} + {}_{1}H^{1} \longrightarrow {}_{79}Au^{197} + {}_{2}He^{4} $$

இவ்வாறு கிடைக்கப்பெற்ற தனிம மாற்ற விளைபொருள்கள் நிலையாக இருப்பதில்லை; அவை நிலையற்ற ஐசோடோப்புகளாகவே கிடைக்கின்றன. நியூட்ரான் (${}_{0}n^{1}$) துணுக்கு எவ்வித மின்னூட்டமும் கொண்டிருக்கவில்லை என்பதனால், இதுவே சிறப்பான ஏவுகணைத் துணுக்காகப் (projectile) பயன்படுகிறது. காமா கதிரையும் இத்தகைய வினைக்குப் பயன்படுத்த முடியும். பின்வரும் சமன்பாடுகள் இவற்றை விளக்கும்.

$$ {}_{3}Li^{6} + {}_{0}n^{1} \longrightarrow {}_{1}H^{3} + {}_{2}He^{4} $$
$$ {}_{4}Be^{9} + \gamma \longrightarrow {}_{4}Be^{8} + {}_{0}n^{1} $$

ஏவுகணைத் துணுக்குகளை உருவாக்கி மிக வேகமாக இயங்கச் செய்ய சைக்ளோட்ரான் (cyclotron) என்ற புதுமுறைக் கருவி பயன்படுகிறது. இக் கருவியில் மிக்க ஆற்றல் வாய்ந்த மின்புலமும், காந்தப் புலமும் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

உளவறி தனிமங்கள் (Tracer elements)

தனிமங்கள் என்பவை ஐசோடோப்புகளின் கலவையாகும். ஒரு தனிமத்திலுள்ள ஐசோடோப்புகளின் விகித அளவு இயற்பியல், வேதிய, உயிரியல் மாற்றங்கள் நிகழ்வதனால் மாறுதல் அடைவதில்லை. ஒரு தனிமத்தின் கதிரியக்கத் தன்மை கொண்ட ஐசோடோப்பின்

தன்மைகளுக்கும், கதிரியக்கத் தன்மையற்ற சாதாரண ஐசோடோப்புக்கும் வேதிய வேறுபாடு கிடையாது; வேதியத் தன்மையில் ஒன்றையொன்று பாதிப்பதில்லை. எனவே, சிறிதளவு கதிரியக்க ஐசோடோப்பை கதிரியக்கத் தன்மையற்ற ஐசோடோப்புடன் கலந்தால் ஏற்படும் கலவை சமச்சீர்மையானதாக (homogeneous) அமைகிறது; அவற்றின் அளவுகளிடையே அமையும் விகிதம் பின்னர் சோதனைகளின்போது மாறுததாக அமைகிறது. கதிரியக்க ஐசோடோப்புகளை இனம் கண்டு பிடிக்கவும், அளவைக் கணக்கிடவும் கைகர் - முல்லர் எண்ணி (Geiger-Muller counter) என்னும் கருவி பயன்படுத்தபடுகிறது. கதிரியக்க ஐசோடோப்புகளின் இயல்பை அறிந்து அவற்றை உளவறித் துணுக்குகளாகப் பல துறைகளில் பயன்படுத்துகிறார்கள். இம் முறையை 'உளவறி முறை' (tracer technique) என்கிறோம்.

உளவறித் துணுக்குகளாகக் கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள் பயன்படுவதைப் பின்வரும் பயன்பாடுகள் மூலமாக விளக்கலாம்.

(i) **கரைதிறன் கணக்கிடல்:** மிகவும் அரிதாகக் கரையும் சில சேர்மங்களின் கரைதிறனைத் திட்டவட்டமாக இம் முறையினால் கண்டறியலாம். லெட் குரோமேட் (lead chromate) டின் கரைதிறனைச் சாதாரண முறைகளினால் கண்டறிவது இயலாததாகும். உளவறி முறையால் அதன் கரைதிறனை அறிய பின்வரும் முறையை மேற்கொள்ள வேண்டும்.

குறிப்பிட்ட எடை அளவான கதிரியக்க லெட்டைக் குறிப்பிட்ட எடை அளவான சாதாரண லெட்டுடன் கலக்க வேண்டும். கலவையான இந்த லெட் மூலமாக லெட் குரோமேட் தயாரிக்க வேண்டும். பின்னர் லெட்குரோமேட்டை நீரிலிட்டுக் கலக்கிப் பூரிதக் கரைசலைத் தயாரிக்க வேண்டும். குறிப்பிட்ட பருமனளவான இக் கரைசலைத் தனியே எடுத்துச் சூடாக்கி நன்கு உலரச் செய்ய வேண்டும். கைகர் - முல்லர் கருவி மூலம் அந்த உலர் சேர்மத்தில் அடங்கியுள்ள கதிரியக்கத் தன்மையான லெட்டின் அளவைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ள வேண்டும். ஏற்கெனவே தெரிந்த விகிதத்தின்படி, கதிரியக்கத் தன்மையற்ற லெட்டின் அளவையும் இம் முறையினால் கணக்கிட முடியும். லெட் குரோமேட்டின் எடையைத் தொடர்பு முறையால் கணக்கிடலாம். பூரிதக் கரைசலின் பருமனளவு தெரிந்திருப்பதனாலும், அதில் கரைந்திருக்கும் லெட் குரோமேட்டின் எடை தெரிந்துவிட்டது என்பதனாலும், அதன் கரைதிறனை எளிதில் கணக்கிட்டு அறிய முடியும். 25°C வெப்ப நிலையில் 1 லிட்டர் நீரில் கரையும் லெட் குரோமேட்டின் அளவு 0.012 மில்லி கிராம் மட்டுமேயாகும்.

இதைப் போன்றே பேரியம் சல்பேட், சில்வர் குளோரைடு போன்ற வற்றின் கரைதிறன்களையும் அறியலாம்.

(ii) **உயிரியல் சோதனைகள் :** கதிரியக்க ஐசோடோப்புகளான $C,^{14}$ $O,^{18}$ $N,^{18}$ $P,^{32}$ போன்றவை ஒளிச்சேர்க்கை, தாவர வளர்ச்சி, விலங்கின் வளர்சிதை மாற்றம் (metabolism) முதலியன குறித்த உண்மைகளைக் கண்டறியப் பயன்படுகின்றன. ஒளிச்சேர்க்கையின் போது தாவரங்கள் வெளியிடும் ஆக்சிஜன் வேர்களின் மூலமாக உறிஞ்சப்படும் நீர் மூலக்கூற்றில் அமைந்திருக்கும் ஆக்சிஜனேயாகும் என்பதை அறிய ஆக்சிஜன் ஐசோடோப் பயன்படுகிறது.

தாவரங்களின் வேர்கள் மூலமாக உறிஞ்சப்படுபவை மேல் நோக்கியும், இலைகளால் ஏற்றுக் கொள்ளப்படுவை கீழ்நோக்கியும் தாவரப் பகுதிகளில் செல்கின்றன என்பதைக் கதிரியக்க பாஸ்பரஸ் மூலமாகச் சோதித்தறியலாம். இவ்வாறே கதிரியக்க பாஸ்பரசின் உதவிகொண்டு, அன்னக் குழல் மூலமாக உட்சென்ற உணவு உடலின் எல்லாப் பகுதிகளுக்கும் எவ்வாறு எடுத்துச் செல்லப் படுகிறது என்பதை அறிந்து கொள்ளலாம்.

மருத்துவத்திலும் கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள் பயன் படுகின்றன. கதிரியக்க சோடியம் இரத்தத் தொடர்புள்ள நோய் களைக் கண்டறியப் பயன்படுகிறது. ஹைப்பர் தைராய்டிசம் (hyper thyroidism) என்ற நோயைக் குணப்படுத்தக் கதிரியக்க அயோடினை $I^{1\ 1}$ ஐசோடோப்பும், இரத்த நோய் பீடித்திருக்கும் போது வெப்பநிலையைக் கட்டுப்படுத்த P^{32} ஐசோடோப்பும் பயன் படுகின்றன. புற்று நோய் பீடித்துள்ள உடற்பகுதியை அடையாளம் காணவும், நோயைத் தீர்க்கவும் கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள் பெரிதும் உதவுகின்றன; கதிரியக்க கோபால்ட் (cobalt) இத் துறை யில் மிகவும் பயன்படுகிறது.

10. கரைசல்கள்

(தொடர்ச்சி)

பரவு விகித விதி (Distribution Law): ஒரு குடுவையில் தண்ணீரையும், கார்பன் டை சல்பைடையும் எடுத்துக்கொள்வோம். இந்த இரண்டு நீர்மங்களும் ஒன்றுடன் ஒன்று கலப்பதில்லை; இரு வேறு பகுதிகளாகப் பிரிந்தே இருக்கின்றன. குடுவைக்குள் சிறிதளவு அயோடினை இட்டுக் குலுக்கினால் அது இரண்டு நீர்மங்களிலும் கரைகிறது. இரு நீர்மப் பகுதிகளும் நிறம் கொள்வதிலிருந்து இதனைப் புரிந்து கொள்ளலாம். கார்பன் டை சல்பைடு பகுதி அதிக நிறச் செறிவு கொள்கிறது என்பதையும் அறிந்து கொள்ளலாம்.

ஒவ்வொரு நீர்மத்திலும் அயோடின் கரைந்திருக்கும் அளவை திட்ட அளவீடு கொண்ட சோடியம் தயோசல்பேட் கரைசல் (standard sodium thiosulphate solution) மூலம் பருமனறி பகுப்பு முறையால் கணக்கிட்டறியலாம்.

இதே போன்று குடுவையினுள் இடப்படும் அயோடின் அளவை மாற்றி மீண்டும் கரைசலாக்கி ஒவ்வொரு நீர்மத்திலும் அயோடினின் செறிவைக் கணக்கிட முடியும். ஒவ்வொரு முறையும் கார்பன் டை சல்பைடில் கரைந்த அயோடின் அளவையும், தண்ணீரில் கரைந்த அயோடின் அளவையும் ஒப்பிட்டு நோக்கினால் அவற்றிடையேயான விகிதம் ஒரு மாறிலியாக இருக்கக் காணலாம். கார்பன் டை சல்பைடில் அயோடினின் செறிவு C_1 எனவும், தண்ணீரில் அயோடினின் செறிவு C_2 எனவும் கொண்டால்,

$$\frac{C_1}{C_2} = K$$

என அமைகிறது. K என்பது மாறிலி.

"தமக்குள் ஒன்றுடன் ஒன்று கலக்காத இரு நீர்மங்களில் ஒரு கரைபொருள் மாறாத விகித அளவில் கரைகிறது," என்பதை

பெர்த்தெலாட் (Berthelot) என்ற விஞ்ஞானி கண்டறிந்தார். ஒரே கரைபொருள் இரு நீர்மங்களில் இவ்வாறு கரைசல் நிலையில் பரவும் கருத்தைப் பரவு விகித விதி (Distribution Law) என்கிறோம். இதனைக் கரைசல் பிரிப்பு விகித விதி (Partition Law) என்றும் வழங்கலாம். கரைசல்களின் செறிவு விகிதமான மாறிலியைப் பரவு குணகம் (distribution coefficient) அல்லது பிரிப்பு குணகம் (partition coefficient) என்கிறோம்.

பரவு குணகம் மாறாமலிருக்கச் சில வரையறைகள் உண்டு என்பதைக் குறிப்பிட வேண்டியது அவசியமாகிறது. கரைபொருள் நீர்மங்களில் கரையும்போது அது அணுநிலை அல்லது மூலக்கூறு நிலையிலேயே மாற்றமின்றி இருக்க வேண்டும்; அயனிகளாகப் பிரிகையுற நேரிட்டால், செறிவுகளின் விகிதம் மாற நேரும். மேலும், கரைபொருள் நீர்மத்தில் கரையும்போது, கரைபொருள் மூலக்கூறு நீர்ம மூலக்கூறுடன் எவ்விதப் பிணைப்புத் தொடர்பும் கொள்ளக் கூடாது; இத்தகைய தொடர்பு நேரிட்டால் செறிவுகளில் மாற்றம் ஏற்பட்டு விகிதம் மாற நேரும். இந்த இரு வரையறைகளும் மீறப் படுமானல், தேவையான கணக்கியல் திருத்தங்கள் புகுத்தப்பட்ட பின்னரே பரவு குணகத்தைக் கணக்கிட முடியும்.

16. மின் வேதியியல்
(தொடர்ச்சி)

கரைசலின் மின்கடத்து திறன் மூலம் p^H கணக்கிடுதல்

எந்தக் கரைசலுக்கு p^H அளவு கணக்கிடப்பட வேண்டுமோ அக்கரைசலின் தற்கடத்து திறனை (specific conductance) முதலில் உரிய பரிசோதனை மூலம் (பக்கம் 269) அறிந்துகொள்ள வேண்டும். கரைசலின் செறிவு நார்மாலிட்டி அளவில் கணக்கிடப்பட்ட பின் இரண்டு கணக்கீடுகளையும் பொருத்தி, கரைசலின் சமான எடை கடத்து திறனை

$$\lambda = K \times V_E$$

என்ற சமன்பாடு மூலமாகக் கணக்கிட வேண்டும். இங்கு λ என்பது சமான எடை கடத்து திறன், K என்பது தற்கடத்து திறன், V_E என்பது ஒரு கிராம்—சமான எடை அளவான சேர்மம் கரைந்திருக்கத் தேவையான க. செ. மீ. அளவிலான நீர்மத்தின் பருமனளவு (அல்லது கரைசலின் மொத்தப் பருமனளவு) ஆகும்.

உச்ச வரம்பு விளாவுதலில் (infinite dilution) அக் கரைசல் கொண்டிருக்கும் சமான எடை கடத்து திறனைப் பரிசோதனை மூலம் நிர்ணயிக்கலாம். அல்லது கோல்ராஷ் விதியின்படி,

$$\lambda_\infty = \lambda_c + \lambda_a$$

என்ற சமன்பாட்டின்படியும் அதனை நிர்ணயிக்கலாம். இங்கு λ_∞ என்பது கரைசலின் உச்ச வரம்பு விளாவுதலில் அமையும் (கணக்கிடப்பட வேண்டியது) சமான எடை கடத்து திறன், λ_c என்பது நேர் அயனியின் கடத்து திறன், λ_a என்பது எதிர் அயனியின் கடத்து திறன் ஆகும் (பக்கம் 271).

இவ்வாறு கணக்கிடப்பட்ட இரு அளவீடுகளின் விகிதத்தை α எனக்கொண்டால், இதுவே கரைசலில் சேர்மம் அடைந்திருக்கும் அயனியுறு அளவைக் குறிக்கும்.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\lambda_\infty}$$

அயனியுறு அளவைச் சார்ந்தே p^H அளவு அமைகிறது என்பது வெளிப்படை.

அயனியுறு அளவையும் கரைசலின் நார்மாலிட்டியையும் பெருக்கினால் ஹைட்ரஜன் அயனியின் செறிவு கிடைக்கப் பெறும். இச் செறிவு ஒரு லிட்டரில் அடங்கியிருக்கும் கிராம்—சமான எடை அளவில் அமைந்திருக்கும். இதன் மூலமாக p^H அளவைக் கணக்கிடலாம். இதைப் பின்வரும் விளக்கக் கணக்கு மூலமாக அறியலாம்:

விளக்கக் கணக்கு

ஒரு லிட்டரில் 0.167 கிராம்—சமான எடை அசெட்டிக் அமிலம் அடங்கிய கரைசலின் தற்கடத்து திறன் 5.84×10^{-4} மோ (mho) ஆகும். உச்ச வரம்பு விளாவுதல் நிலையில் அசெட்டிக் அமிலக் கரைசலின் சமான எடை கடத்து திறன் 350 மோ ஆகும். கரைசலின் அயனியுறு அளவு என்ன? ஹைட்ரஜன் அயனிச் செறிவையும், p^H அளவையும் கணக்கிடுக.

0.167 கி. ச. எடை அடங்கியுள்ள
பருமனளவு = 1000 க.செ.மீ.

1.00 கி. ச. எடை அடங்கியுள்ள
பருமனளவு $= \frac{000}{0.167}$
= 5988 க.செ.மீ.

கரைசலின் தற்கடத்து திறன் $= 5.84 \times 10^{-4}$ மோ

∴ சமான எடை கடத்து திறன் $= 5.84 \times 10^{-4} \times 5988$
$= 3.4\ 7$ மோ

உச்ச வரம்பு விளாவுதல் நிலையில்
சமான எடை கடத்து திறன் = 350 மோ

அயனியுறு அளவு $= \frac{\lambda}{\lambda_\infty}$

$= \frac{3.497}{350}$

$= 0.01$

ஹைட்ரஜன் அயனிச் செறிவு $= 0.01 \times 0.167$
= 0.00167 கி.ச.எ./லிட்டர்

$\therefore [H^+] = 0.00167$

$$p^H = -\log_{10} [H^+]$$
$$= -\log [1.7 \times 10^{-3}]$$
$$= -\log \frac{1.67}{10^3}$$
$$= \log \frac{10^3}{1.37}$$
$$= \log 10^3 - \log 1.67$$
$$= 3.00 - 0.2227$$
$$= 0.2777$$
$$= 2.8$$

கரைதிறன் பெருக்கம் (Solubility Product)

ஒரு மின்பகுளியின் பூரிதக் கரைசலை எடுத்துக்கொண்டால் இரண்டு வகையான சமநிலைகள் (equilibria) ஒரே சமயத்தில் அமைகின்றன; பூரிதக் கரைசலுடன் கரையாத நிலையிலான (திண்ம நிலையிலான) மின்பகுளி சிறிது இருக்க வேண்டியதும் அவசியமாகும். முதல் வகைச் சமநிலையில், திண்ம நிலை மின்பகுளிக்கும், கரைந்த நிலையில் இருந்தும் பிரிகையுறுத மின்பகுளிக்கும் தொடர்பு உள்ளது. இரண்டாம் வகைச் சமநிலையில், கரைசல் நிலையிலுள்ள பிரிகையுறுத மின்பகுளிக்கும், கரைசலிலுள்ள அயனிகளுக்கும் தொடர்பு உள்ளது.

$$\left.\begin{matrix}\text{திண்ம}\\ \text{மின்பகுளி}\end{matrix}\right\} \rightleftarrows \left\{\begin{matrix}\text{கரைசலில் பிரிகையுறு}\\ \text{மின்பகுளி}\end{matrix}\right\} \rightleftarrows \left\{\begin{matrix}\text{கரைசலிலுள்ள}\\ \text{அயனிகள்}\end{matrix}\right.$$

எடுத்துக்காட்டாக, சில்வர் குளோரைடு பூரிதக் கரைசலில் (திண்ம சில்வர் குளோரைடும் இடம் பெற்றிருக்கிறது) பின்வரும் சமநிலை அமைகிறது.

$$\underset{\text{(திண்மம்)}}{Ag\,Cl} \rightleftarrows \underset{\text{பிரிகையுறு மூலக்கூறு (கரைசல்)}}{Ag\,Cl} \rightleftarrows \underset{\text{அயனிகள் (கரைசல்)}}{Ag_{+} + Cl^{-}}$$

நிறைதாக்க விதியின்படி,

$$\frac{[Ag^{+}]\ [Cl^{-}]}{[Ag\ Cl]} = K \text{ (அயனியாக்க மாறிலி)}$$

பூரிதக் கரைசல் நிலையில் பிரிகையுறு மின்பகுளியின் செறிவு ஒரே சீரான அளவினதாக எப்போதும் இருக்கும். செறிவு குறையுமானால், அதைச் சீராக்கி முன்போலாக்க திண்ம நிலையிலான மின்பகுளி மேலும் சிறிது கரைகிறது. இதனால் செறிவு நிலை மீட்கப்படுகிறது. இதே போன்று, செறிவு அதிகமானால் அதைச் சீராக்கி முன்போலாக்க மிகை பூரித நிலை அடைந்துவிட்ட கரைசலிலிருந்து வீழ்படிவு ஏற்படுகிறது. குறிக்கப்பட்ட சமன்பாட்டில் (Ag Cl) என்பது கரைசல் நிலையிலான மின்பகுளியின் செறிவைக் குறிக்கின்றது. இது ஒரு மாறிலி என்பதனால் k எனக் கொள்க. எனவே,

$$\frac{[Ag+]\ [Cl_{-}]}{k} = K$$

$$\therefore [Ag^{+}]\ [Cl^{-}] = k \times K$$

$$= S$$

அதாவது, இரண்டு அயனிகளாகப் பிரிகையுறும் மின்பகுளியின் பூரிதக் கரைசலை அதன் திண்ம நிலைப் பகுதியைச் சார்ந்து கணக்கிட்டால், ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையில் அயனிகளுடைய செறிவுகளின் பெருக்குத் தொகை மாருத நிலையில் இருக்கும். இதற்குக் கரைதிறன் பெருக்கம் (solubility product) என்று பெயர். இது S என்பதாகக் குறிக்கப் பெறும். இதைப் போலவே மூன்று அயனிகளாகவோ அதற்கும் மேற்பட்ட எண்ணிக்கையான அயனிகளாகவோ பிரிகையுறும் சேர்மங்களுக்கும் S கணக்கிடப்படலாம்.

ஒரு கரைசலில் அயனிச் செறிவுகளின் பெருக்குத் தொகை (ionic product) கரைதிறன் பெருக்கத்தைவிடக் குறைவாக இருக்குமேயானுல் கரைசல் அபூரித நிலையுடையதாகும்; இந் நிலையில் திண்மமாக உள்ள மின்பகுளி மேலும் சிறிது கரைந்து கரைசலைப் பூரித நிலைக்கு மாற்ற முடியும். மாருக, அயனிச் செறிவு பெருக்கத்தின் அளவு கரைதிறன் பெருக்கத்தின் அளவைவிட அதிகமாக இருந்தால், கரைசல் அதிபூரித நிலை அடைந்து வீழ்படிவு ஏற்படுகிறது. அயனிச் செறிவுப் பெருக்கமும், கரைதிறன் பெருக்கமும் சமமாக இருந்தால், கரைசல் திண்மத்துடன் சமநிலை (equilibrium) அமைத்திருப்பதாகப் பொருளாகும்.

கரைதிறன் பெருக்கம் S என்பதன் அளவீட்டைக் கொண்டு குறிப்பிட்ட சேர்மத்தின் கரைதிறனைக் கணக்கிட முடியும். எனவே, S அளவைக் கொண்டு ஒரு சேர்மம் வீழ்படிவாகுமா அல்லது கரைசல் நிலை பெறுமா என்பதை வரையறுக்க முடியும். இக் கருத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டுதான் பண்பறி பகுப்பின்போது தொகுதி வழி உலோகங்களை வீழ்படிவாக்குகிருேம்.

விளக்கக் கணக்குகள்

(1) சில்வர் குளோரைடின் மூலக்கூறு எடை *143.5* ஆகும். *18°C* வெப்ப நிலையில் லிட்டர் அளவில் அதன் கரைதிறன் *0.0014* கிராம் ஆகும். எனில் அதன் கரைதிறன் பெருக்கம் என்ன ?

சில்வர் குளோரைடின் கரைதிறன் $= 0.0014$ கி/லிட்டர்

கிராம்—மூலக்கூறு எடை அளவில் $= \frac{0.0014}{143.5}$

$= 9.757 \times 10^{-6}$ கி.மூ/லிட்டர்

சில்வர் குளோரைடின் கரைதிறன் மிகமிகக் குறைவு. எனவே, கரைந்த நிலையில் அது முழுவதுமாக அயனிகளாகப் பிரிகையுற்று விடும் எனக் கருதலாம். எனவே, அயனிச்செறிவைக் குறிப்பிட

ஒவ்வொன்றும் 9.757×10^{-6} கிராம் அயனி/லிட்டர் எனலாம். அதாவது,

$$[Ag^+] = 9.757 \times 10^{-6} \text{ கி.அ./லி}$$
$$[Cl^-] = 9.757 \times 10^{-6} \text{ கி.அ./லி}$$

∴ Ag Cl—ன் கரைதிறன் பெருக்கம்

$$= [Ag^+][Cl^-]$$
$$= 9.757 \times 10^{-6} \times 9.757 \times 10^{-6}$$
$$= 95.19 \times 10^{-12}$$
$$S = 95.19 \times 10^{-12}$$

(2) சில்வர் புரோமைடின் கரைதிறன் பெருக்கம் 7.7×10^{-13} ஆகும். பூரிதக் கரைசல் நிலையில் அது முழுவதுமாகப் பிரிகை யுற்றிருக்குமானால், அதன் கரைதிறன் என்ன?

$$AgBr \rightleftharpoons Ag^+ + Br^-$$
$$S = [Ag^+][Br^-]$$

x கி. மூலக்கூறுகள் அயனியுற்றிருப்பதாகக் கொள்வோம்.

$$S = [x][x]$$
$$= x^2$$
$$x^2 = 7.7 \times 10^{-13}$$
$$x = \sqrt{7.7 \times 10^{-13}}$$
$$= 8.775 \times 10^{-7}$$

எனவே, ஒரு லிட்டரில் 8.775×10^{-7} கிராம் மூலக் கூறுன சில்வர் புரோமைடு கரைந்திருக்கிறது.

சில்வர் புரோமைடின் மூலக்கூறு எடை $= 108 + 80$
$= 188$

∴ கரைதிறன் கிராம் எடை அளவில் $= 8.775 \times 10^{-7} \times 188$
$= 1.650 \times 10^{-4}$

சில்வர் புரோமைடு ஒரு லிட்டரில் 1.650×10^{-4} கிராம் கரை கிறது.

கரைதிறன் பெருக்கத்தின் பயனீடுகள் (Applications)

கரைதிறன் பெருக்கத்தைவிட அயனிச் செறிவுப் பெருக்கத்தை அதிகரிக்கச் செய்வதனால் வீழ்படிவு ஏற்படச் செய்யலாம். அமிலத்

தொகுதி சார்ந்த அயனிகளைக் கரைசலுடன் சேர்ப்பதன் மூலம் அயனிச் செறிவை அதிகரிக்கச் செய்வதே பண்பறி பகுப்பின்போது மேற்கொள்ளப்படுகிறது. உலோகங்களின் குளோரைடுகள், சல்பைடுகள், ஹைட்ராக்சைடுகள், கார்பனேட்டுகள் ஆகியவற்றின் அயனிச் செறிவுப் பெருக்கம் S அளவீட்டை அதிகரிக்கும்போது வீழ்படிவு அடையும் வகையில் தொகுதிக்குரிய வினைபொருள்கள் (reagents) சேர்க்கப்படுகின்றன. இதனால் அந்தந்தத் தொகுதிகளில் அதிபூரிதக் கரைசல் உருவாகி உலோகங்கள் அவற்றின் சேர்மங்களாக வீழ்படிவாகின்றன.

தொகுதி I: இத் தொகுதி உலோக மூலங்களைத் (metallic radicals) தனித்துப் பிரிப்பதற்காக இத் தொகுதியின் வினைபொருளான HCl அமிலம் சேர்க்கப்படுகிறது. இதனால் அதிக அளவில் Cl^- (குளோரைடு) அயனிகள் சேர்க்கப்படுகின்றன. AgCl, $PbCl_2$, Hg_2Cl_2 ஆகியவற்றின் கரைதிறன் பெருக்க அளவீடுகள் மிகவும் குறைவாக அமைந்திருக்கின்றன.

$$AgCl = 1 \times 10^{-10}$$
$$PbCl = 2 \times 10^{-4}$$
$$Hg_2Cl_2 = 2 \times 10^{-18}$$

எனவே Ag,Pb,Hg ஆகிய இம் மூன்று உலோகங்களும் அவற்றின் குளோரைடுகளாகத் தொகுதி I-ல் எளிதில் வீழ்படிவாகி விடுகின்றன. பிற உலோகக் குளோரைடுகளின் கரைதிறன் பெருக்கம் அதிகமாக அமைந்திருப்பதனால், வீழ்படிவாகாமல் கரைசல் நிலைபெறுகின்றன.

லெட் குளோரைடின் கரைதிறன் பெருக்கம் மற்ற இரண்டு குளோரைடுகளின் S அளவீடுகளுடன் ஒப்பிடப்படும்போது அதிகமாகும். எனவே, லெட் குளோரைடின் சிறுபகுதிதான் தொகுதி I-ல் வீழ்படிவாகிறது; மறுபகுதி கரைசல் நிலை அடைவதால் தொகுதி II-க்குரிய கரைசலில் Pb^{++} அயனியாக அமைந்து H_2S வாயுவுடன் வினைப்பட்டு PbS வீழ்படிவாகிறது. இதனுடைய கரைதிறன் பெருக்கம் மிகக் குறைவு.

$$PbS = 4 \times 10^{-28}$$

மேலும், வெப்ப நிலை அதிகரித்தால், லெட் குளோரைடின் கரைதிறன் பெருக்கம் அதிகரிக்கிறது. சாதாரண வெப்ப நிலையில் 2×10^{-4} என்ற லெட் குளோரைடின் S அளவீடு 100°C வெப்ப நிலையில் 170×10^{-4} என்பதாக அதிகரித்து விடுகிறது. வெந்நீரில் அதிக அளவிலான Pb^{++} அயனிகள் கரைசல் நிலையை அடையும்

என்பதனுல் தொகுதி I-ல் வீழ்படிவு பெறக் குளிர்நிலையில் சோதனை நிகழ்த்தப் பெற வேண்டும்.

தொகுதி IV & V : இந்த இரண்டு தொகுதிகளிலும் உலோகங்கள் அவற்றின் சல்பைடுகளாக வீழ்படிவாக்கப்படுகின்றன. ஆனுல், இரண்டு தொகுதிகளுக்கும் உரிய சூழ்நிலைகள் வெவ்வேருக அமைக்கப்படுகின்றன என்பது குறிப்பிடத் தக்கதாகும். தொகுதி II உலோகங்களின் சல்பைடுகள் அமிலச் சூழ்நிலையில் வீழ்படிவாகும். தொகுதி IV உலோகங்களின் சல்பைடுகள் காரச் சூழ்நிலையில் வீழ்படிவாகும். H_2S வாயு நீரில் பூரிதக் கரைசலாகும்போது S^{--} (சல்பைடு) அயனிச் செறிவு 1×10^{-15} ஆகும். HCl சேர்க்கப்பட்டால் H_2S பிரிகையுறும் அளவு குறைக்கப்படுகிறது. இது பொது அயனி விளைவு (common ion effect) காரணமாக நிகழ்வதாகும். 0·3 M ஹைட்ரோகுளோரிக் அமிலம் சேர்க்கப்பட்டால் S^{--} அயனிச் செறிவு 1×10^{-22} என்பதாகக் குறைக்கப்படுகிறது. இவ்வாருகத் தொகுதி II-க்குரிய சூழ்நிலையில் S^{-} அயனியின் செறிவு குறைக்கப் படுவதனுல் குறைவான கரைதிறன் பெருக்கம் கொண்ட (அதாவது குறைவான கரைதிறன் கொண்ட) உலோக Hg (இக்), Pb, Cu, Bi, Cd, As, Sb, Sn (அஸ், இக்) ஆகியவற்றின் சல்பைடுகள் மட்டுமே வீழ்படிவாகின்றன. அதிகக் கரைதிறன் கொண்ட தொகுதி IV உலோகங்களின் சல்பைடுகள் வீழ்படிவாவதில்லை.

தொகுதி IV சோதனையின்போது NH_4OH சேர்க்கப்பட்ட பின்னர் $NH_2 S$ செலுத்தப்படுவதனுல் $(H_4)_2 S$ உருவாகிறது. இது எளிதில் பிரிகையுற்று அதிக S^{--} அயனிச் செறிவை உண்டாக்குகிறது. Zn, Mn, Co, Ni ஆகியவற்றின் சல்பைடுகளின் கரைதிறன் பெருக்கம் இச் செறிவுடன் ஒப்பிடப்படும்போது குறைவாக இருப்பதனுல், இந்த உலோகங்களின் சல்பைடுகள் வீழ்படிவாகின்றன்.

அளவறி பகுப்பு (Quantitative analysis) சார்பான சோதனைகளைச் செய்யும்போதும் கரைதிறன் பெருக்கம் கருத்து மேற்கொள்ளப்படுகிறது. சில்வர் உலோகத்தை அளவிட சில்வர் குளோரைடு வீழ்படிவாக்கப்பட வேண்டும்; இத்தகைய வீழ்படிவாக்கல் முழுமை பெற நீர்த்த HCl அமிலம் அதிக அளவில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதைப் போன்றே பேரியம் (Barium) அளவிடு முறையில் பேரியம் சல்பேட் முழுமையாக வீழ்படிவாக்கப்பட நீர்த்த $H_2 SO_4$ அமிலம் அதிக அளவில் பயன்படுத்தப்படுகிறது.